Republic of Ecuador





GPE INEN 34 (1985) (Spanish): Guía de práctica. Control de calidad del hormigón con bases de fiscalización

BLANK PAGE



INEN

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

guía de práctica

GP 034

CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGON BASES DE FISCALIZACIÓN

Por: Ing. Pedro Orellana I.

1985
Quito - Ecuador

Guía Práctica Ecuatoriana	GUIA DE PRACTICA CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGON BASES DE FISCALIZACION	GPE INEN 034:1985

1.1 USO RACIONAL Y CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGON

1.1.1 *Utilización racional del hormigón*

El hormigón es un material compuesto cuyas propiedades no son necesariamente inmanentes, sino que resultan predecibles y regulables mediante la acertada selección y combinación de sus componentes. Esta circunstancia es la que permite especificar, diseñar y elaborar el hormigón adecuado a los requerimientos de cada aplicación en particular.

De este modo, la justa concordancia entre la calidad del hormigón que se emplea en construcciones, define la utilización racional de este material. Una calidad deficiente en el hormigón que se utiliza, representa un riesgo que con frecuencia absorbe el propietario de la obra. Por lo contrario, una calidad en exceso constituye un desperdicio que no beneficia a nadie y que también suele ser en detrimento del propietario.

En un proceso organizado tendiente a utilizar racionalmente el hormigón en una obra, deben desarrollarse las siguientes actividades en orden sucesivo:

- Elaboración del proyecto y definición de la categoría correspondiente al hormigón.
- Redacción de las especificaciones de calidad para el hormigón.
- Selección y habilitación de los componentes del hormigón con la calidad especificada.
- Diseño de la mezcla del hormigón requerida, con los materiales seleccionados y dispuestos.
- Producción de la mezcla del hormigón, a escala de la obra.
- Comprobación de las características previstas en el hormigón recién elaborado.
- Verificación de las propiedades específicas en el hormigón en estado endurecido.
- Ajuste de la mezcla de hormigón, en caso necesario, para buscar concordancia con los requisitos especificados

Para la ejecución de cada una de estas actividades, existen procedimientos establecidos con requerimientos específicos que deben satisfacerse. El seguimiento durante la aplicación de estos procedimientos, y la comprobación de que se cumplan sucesivamente los requisitos inherentes, corresponde a lo que en forma global puede designarse como un sistema integral para la definición, control y verificación del hormigón, cuyo objetivo consiste en asegurar el cumplimiento de la calidad especificada para el material.

De esta manera, la implantación de programas de seguimiento de esta naturaleza en las obras, puede ser un medio efectivo para promover la concordancia entre el hormigón que cada estructura requiere y el que suministra. Esto es, para darle uso racional al hormigón, con sus consiguientes beneficios técnicos y económicos.

1.1.2 *Esquema del Control de Calidad*

En la figura No. 1 se presenta un modelo de organización que es frecuente durante la construcción de las obras, en donde se observan los principales factores que deben concurrir para que el hormigón alcance la calidad especificada.

En términos generales, pueden admitirse que existen dos medios fundamentales para ejercer el control del hormigón, cuyos objetivos se complementan:

1. El control interno, o autocontrol, que forma parte de la organización responsable de producir el hormigón.

2. La supervisión externa que, aunque puede seguir diferentes modalidades, normalmente constituye una fiscalización que proviene directamente del propietario de la obra.

El control interno de calidad, en su aceptación ordinaria, corresponde a las acciones que debe ejercer el productor del hormigón para mantener ciertas propiedades índice del producto dentro de límites preestablecidos. Aunque estas acciones puedan ser tan prolijas como sea necesario para abarcar en toda su amplitud para el proceso de producción del hormigón, no dejan de representar el interés de quien lo produce y/o utiliza, para construir una obra que, con frecuencia, no es de su propiedad. Por lo tanto, para lograr una configuración de la calidad del hormigón, más realista y acorde con los intereses del propietario, es necesario complementar el control con una supervisión externa, cuya finalidad no necesariamente consiste en comprobar directamente la calidad del hormigón, sino más bien revisar los medios de que dispone el productor para evaluarla, y, así mismo, juzgar los procedimientos y criterios que aplica, para corregirla y ajustarla a los límites previstos

En la figura 2 se indican las etapas, de que suele constar el proceso global para producir hormigón, y en ella se indica también la ubicación que es asignable al control interno y a la supervisión externa. Conviene observar que el ejercicio de control debe ser simultáneo con el desarrollo del proceso, por cuya razón sus actividades requieren ser permanentes y rutinarias en el curso de cada etapa. Por su parte, la supervisión externa, siendo una actividad alternativa, debe esperar sus mayores oportunidades de éxito en sus impredecibles intervenciones.

Como consecuencia directa de las actividades de control, se obtienen resultados que deben confrontarse con los correspondientes valores especificados.

De esta confrontación puede emanar acciones correctivas, cuando las discrepancias encontradas exceden a las diferencias tolerables. La acción de confrontar y corregir constituye lo que en términos prácticos se conoce como "retroalimentación" de resultados. En cierto modo, la retroalimentación puede imaginarse como un proceso que opera en sentido opuesto al control; lo cual significa que siempre existe un compás de espera entre la detección de alguna deficiencia *y* la implantación de la acción correctiva correspondiente. Debido a ello, *y* con el propósito de hacer la retroalimentación más oportuna y eficaz, existe la convicción permanente de que el control del hormigón debe sustentarse en la realización de pruebas y determinaciones, cuyos resultados sean de preferencia obtenidos inmediatamente ó a corto plazo.

1.1.3 *Razones para el control de calidad*

El control de calidad de los productos manufacturados normalmente se apoya en tres actividades principales:

1. Control de calidad de las materias primas.
2. Supervisión del proceso completo de fabricación.
3. Verificación total del producto terminado.

Existe un aspecto propio en el control: es el tiempo que necesita transcurrir, después de concluido el proceso de fabricación para que el producto pueda considerarse verdaderamente terminado, pero en el lapso de espera, que corresponde al período de endurecimiento y adquisición de propiedades, la construcción de la obra continúa, y los datos que se obtienen de la verificación final del hormigón pueden ser totalmente extemporáneos para su oportuna aplicación en la misma, con el objeto de prevenir posibles fallas. Con el propósito de atenuar esta desventaja, se han desarrollado pruebas rápidas para analizarla composición del hormigón conforme sale de la mezcladora. Con ellas se pretende mejorar la uniformidad del hormigón en su elaboración, verificando y ajustando las proporciones de sus componentes, y anticipando las propiedades del hormigón endurecido, aplicando el razonamiento de que el uso de materias primas de buena calidad, mezcladas correctamente y en proporciones justas, deben conducir a un producto que finalmente alcance sus cualidades potenciales.

Para completar los resultados de las pruebas rápidas en que se analiza la composición del hormigón recién elaborado, también se preparan probetas en las que se determina la resistencia del hormigón endurecido a diversas edades. Estas probetas pueden elaborarse en diferentes partes de la obra y recibir distintas clases de curado, según la aplicación que se intente dar a sus resultados, como se indica en la Tabla 1.

Aunque el ensayo de probetas representativas del hormigón recién elaborado es el procedimiento generalmente admitido para verificar su resistencia como producto terminado, debe recordarse que la resistencia potencial del hormigón como sale de la mezcladora no necesariamente coincide con la del mismo hormigón ya colocado en la estructura, debido a las desiguales condiciones en que se maneja, compacta, protege y cura, como se hace notar en el esquema de la figura 3. En este punto conviene acotar los límites recomendables para el control de calidad, a fin de evitar que estas discrepancias puedan motivar desacuerdo en cuanto a la responsabilidad por la calidad definitiva del hormigón, principalmente cuando la persona que lo utiliza no es la misma que produce.

Tomando como ejemplo las elaboraciones comunes, se observa que las funciones normales del control de calidad suelen darse por terminadas cuando el producto se entrega para su comercialización. En el caso de la producción de hormigón para delimitar el control de calidad propiamente dicho, también puede considerarse que esta termine al entregar el hormigón a la salida de la mezcladora y que la toma de probetas en ese momento sirva para dejar constancia de su resistencia potencial. A partir de entonces, el control del proceso debe continuar por conducto de la inspección y la supervisión, con la finalidad de asegurar que el hormigón recibido se transporte, coloque, compacte, proteja y que cure conforme a lo establecido en las especificaciones.

Si todas estas actividades se realizan satisfactoriamente, y si el ensayo de las probetas a la edad prevista confirma la obtención de la resistencia requerida, entonces no debe existir motivos para poner en duda la calidad final del hormigón en la estructura. Por otra parte, si existe evidencia de incumplimiento en algunas de las condiciones anteriores, para ser necesario verificar el estado real del hormigón colocado, mediante algunos de los procedimientos que existen para este objeto. De estos, los de uso más generalizado corresponden a la auscultación de la estructura con ondas ultrasónicas y a la extracción y ensayos de corazones o núcleos.

Es oportuno señalar que en las últimas etapas del procedimiento general de control que corresponden al uso del hormigón para construir la estructura, las deficiencias suelen detectarse mediante la vigilancia y observación directa del inspector o supervisor, por lo que las acciones correctivas pueden ser prácticamente inmediatas. Esta es una circunstancia afortunada porque, una vez colocado el hormigón en la estructura, cualquier acción posterior puede ser incómoda y costosa.

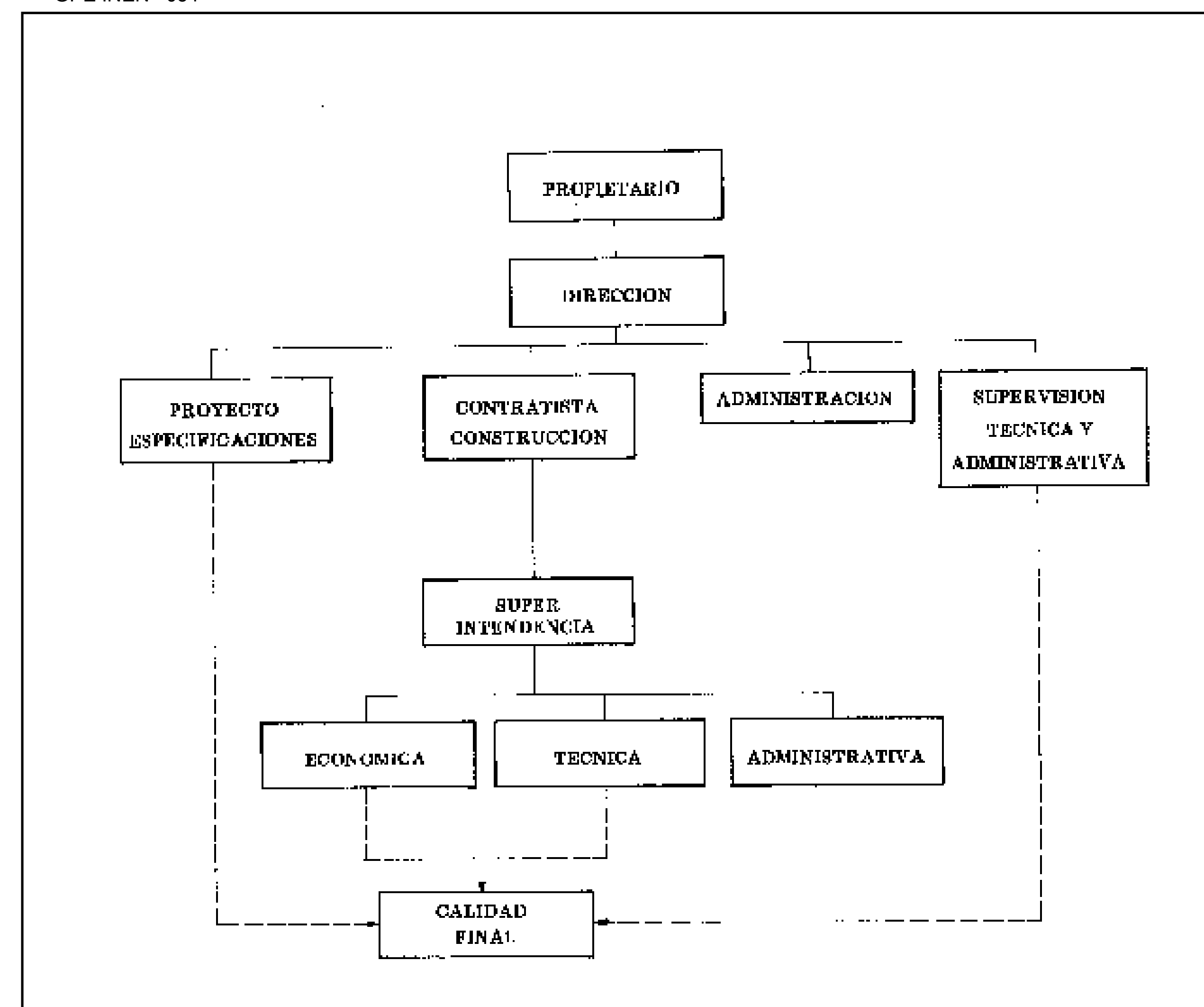


Figura 1. Cuadro esquemático de los factores que concurren para obtener la calidad especificada de una obra

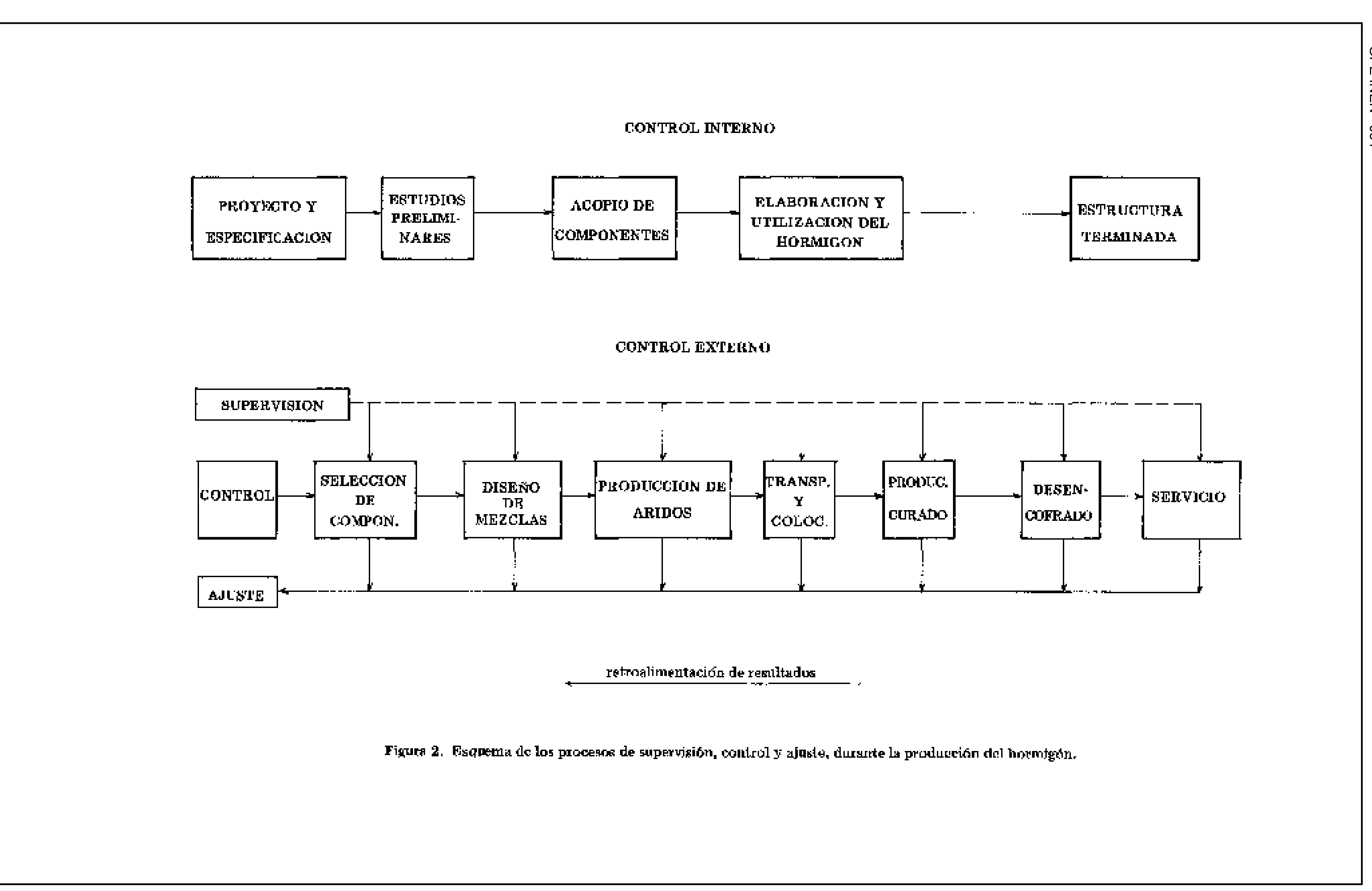


Figura 2. Esquema de los procesos de supervisión, control y ajuste, durante la producción del hormigón.

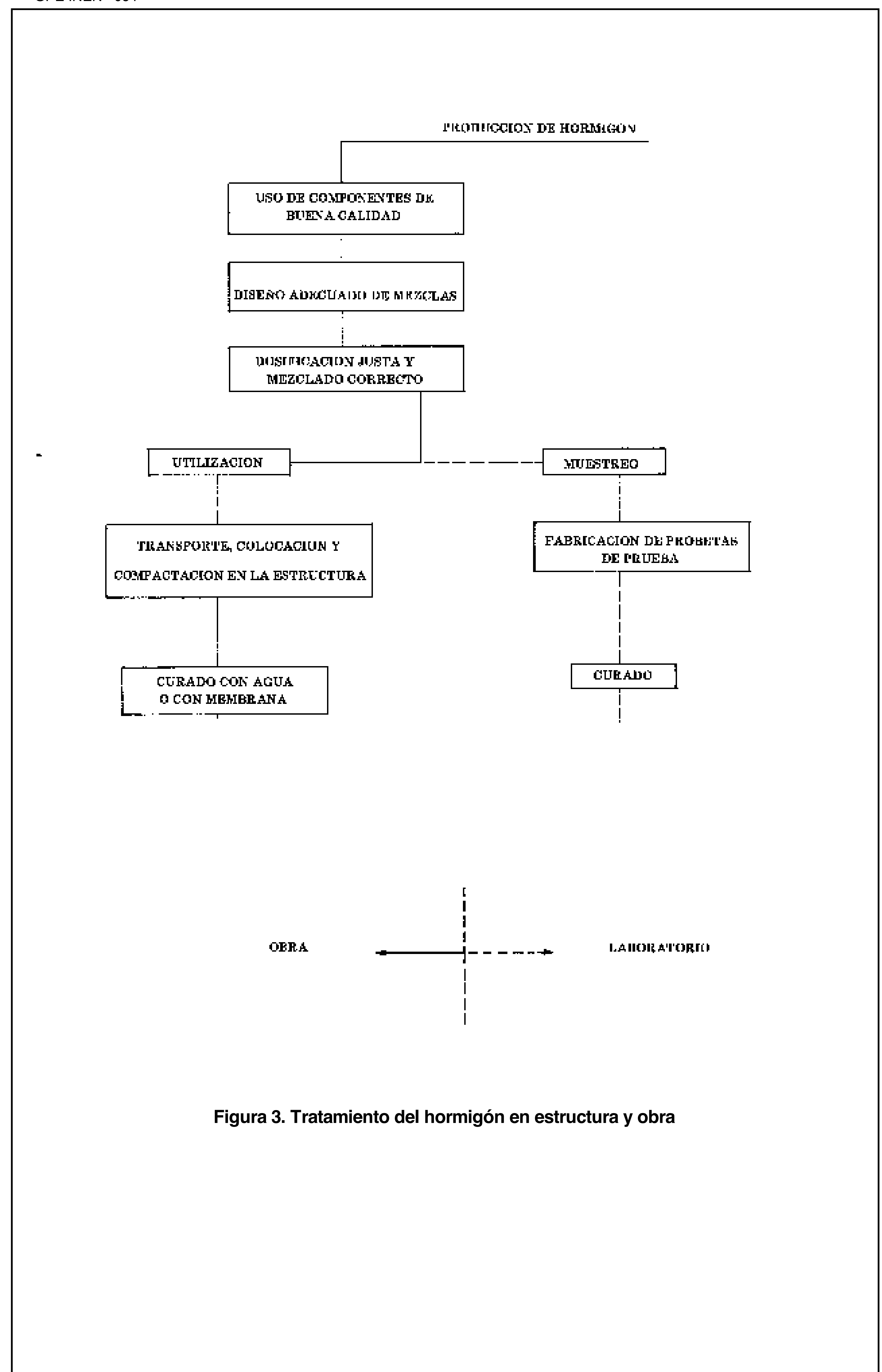


Figura 3. Tratamiento del hormigón en estructura y obra

Tabla 1. Diferentes objetivos y condiciones para la obtención y ensayo de probetas representativas del hormigón en una obra.

LUGAR DE MUESTREO	CONDICION DE CURADO	EDAD DE PRUEBA	UTILIZACION DE RESULTADOS
A la descarga de la revolvedora.	Acelerado	Entre 6 y 48 horas aproximadamente según método de prueba utilizado.	Predicción y juicio de la resistencia probable del hormigón a la edad de proyecto (normalmente 28 días).
A la descarga de la revolvedora.	Normal de laboratorio.	3;7 a 14 días.	Evolución de la resistencia inicial del hormigón en curado normal y extrapolación para estimar la resistencia a edades posteriores (28 días ó 90 días).
A la descarga de la revolvedora.	Normal de laboratorio.	28 y/o 90 días.	Confrontación de la resistencia del hormigón en curado normal, contra la resistencia del proyecto especificada (normalmente 28 días y eventualmente 90 días cuando se utiliza puzolana). Verificación del cumplimiento de especificaciones de resistencia.
En el sitio de colado.	Normal de laboratorio.	28 y/o 90 días.	Confrontación de las resistencias del hormigón muestreado en las condiciones inmediatas anteriores a su colocación, contra la del mismo hormigón muestreado a la descarga de la revolvedora. Indagación de causas, si existen diferencias objetables.
En el sitio del colado.	Igual que la estructura representada.	Primeras edades según el caso.	Observación de la evolución inicial de la resistencia del hormigón, curado como la estructura, para definir el tiempo en que ésta puede descimbrarse.

1.1.4 *Pruebas de control en obras*

El control del hormigón en obra se ejerce normalmente haciendo uso de todas aquellas pruebas e inspecciones que pueden aportar datos y resultados útiles para juzgar y corregir lo siguiente:

1. La calidad de los componentes.
2. El procedimiento de dosificación y mezclado.
3. Las características del hormigón recién elaborado.
4. Los medios y procedimientos con que se transporta, coloca, compacta, protege y cura.
5. La resistencia del hormigón en estado endurecido.

Considerando que los materiales que se reciben ya elaborados (cemento, aditivos) deben cumplir su propio proceso de control y verificación de calidad, las pruebas y otras actividades que puede realizar quien controla el hormigón en obra, se describen a continuación:

Áridos

Control de limpieza (limo, arcilla, materia orgánica) y composición granulométrica.

a) Durante la etapa de explotación de bancos.
b) Durante el proceso de clasificación y lavado.

Control de propiedades que sean decisivas para la calidad de los áridos, de acuerdo con la naturaleza de las rocas constitutivas: sanidad, densidad, forma de partículas (en caso de trituración).

Control de segregación y posible contaminación de los áridos ya clasificados, en el curso de las operaciones de descarga, transporte y almacenamiento en patios. Precauciones para un buen drenaje del agua de lavado o de lluvia en los patios de almacenamiento, principalmente para la arena.

Dosificación y mezclado

Corrección del proporcionamiento teórico, de acuerdo con los cambios de humedad y granulometría en los áridos.

Verificación del funcionamiento y precisión del equipo en que se dosifican los componentes del hormigón, mediante revisiones y calibraciones rutinarias.

Certificación previa de las cantidades de materiales que deben componer cada revoltura de hormigón y vigilancia permanente en su aplicación.

Determinación del tiempo óptimo de mezclado, mediante pruebas de eficiencia a la revolvedora.

Hormigón recién elaborado

Control de fluidez en las mezclas al salir de la revolvedora, mediante la conocida prueba de asentamiento. Determinación de la masa volumétrica, el contenido de aire y la temperatura del hormigón recién mezclado. Análisis de muestras de hormigón tomadas a la descarga de la revolvedora, para verificar su composición. Elaboración de probetas adecuadas para determinar la resistencia a la compresión del hormigón endurecido, tanto en curado acelerado, como en curado normal, a diversas edades.

Utilización del hormigón

Prevención de la segregación del hormigón en el curso de su traslado al sitio de colado y durante su colocación. Verificación del asentamiento, la temperatura y el contenido de aire del hormigón al llegar al sitio de vertido. Vigilancia de la compactación que experimenta el hormigón en su posición definitiva dentro de la estructura. Atención a las posibles manifestaciones del asentamiento y sangrado en el hormigón recién colocado, y protección contra la pérdida prematura de humedad a través de las superficies expuestas del mismo.

Elaboración de las probetas adecuadas en el sitio de vertido, para verificar la resistencia del hormigón en las condiciones inmediatas anteriores a su colocación en la estructura. Elaboración de probetas en el sitio de vertido, que al ser curadas en condiciones iguales que la estructura, sirvan para definir el tiempo de descimbrado, de acuerdo con su resistencia alcanzada. Vigilancia para que se aplique correctamente el curado especificado en la estructura. Supervisión del retiro de cimbras soportantes y no soportantes en la estructura, a las edades y por los procedimientos autorizados.

Hormigón endurecido

Obtención de la resistencia a compresión en probetas de hormigón sometidas a curado acelerado. Aplicación de estos resultados para predecir y juzgar el nivel de la resistencia potencial del hormigón como se entrega al salir de la mezcladora.

Obtención de la resistencia a compresión en probetas de hormigón sometidas a las mismas condiciones de curado de la estructura. Utilización de estos resultados para definir la edad en que puede autorizarse el retiro de cimbras soportantes.

Obtención de la resistencia a compresión, a edades tempranas, en probetas de hormigón sometidas a curado normal de laboratorio. Extrapolación de sus resultados para estimar y juzgar el nivel probable de la resistencia del hormigón a una edad posterior, en esas condiciones de curado.

Obtención de la resistencia a la compresión del hormigón, a la edad especificada para alcanzar la resistencia del proyecto, en probetas sometidas a curado normal de laboratorio. Análisis estadísticos de los resultados para verificar el cumplimiento de las especificaciones del hormigón.

Ejecución de pruebas en la estructura, tendientes a establecer su condición real, cuando existen motivos para dudar de la calidad del hormigón colocado.

Utilización de resultados. La información que se obtiene como consecuencia de la ejecución de las pruebas y verificaciones anteriores, tiene utilidad para el control de la producción de hormigón en la medida que es confiable y oportuna. De ser así, puede utilizarse con seguridad y eficacia para retroalimentar el proceso de producción, esto es, hacer llegar la información obtenida hasta la etapa del proceso donde se originó la prueba, a fin de que, si se detecta algún incumplimiento, pueda corregirse en el menor tiempo posible.

Confiabilidad de los resultados. La confiabilidad que inspira el resultado de una prueba depende básicamente de tres factores inherentes a la misma, que son: quién, cómo y con qué se realiza. El factor "quien" se refiere al personal de la obra que ejerce el control del proceso de producción de hormigón, el "como" corresponde a los procedimientos y métodos que se utilizan para ejecutar las pruebas; el "con qué" se relaciona con los equipos e instrumentos de prueba disponibles, tanto en el laboratorio como en el campo.

Esta dependencia conduce a tres requerimientos esenciales, que debe cumplir todo servicio de control de calidad, a fin de que pueda considerársele capaz de emitir resultados confiables:

1. Capacitación y calificación apropiadas del personal.
2. Utilización de métodos de prueba normalizados.
3. Certificación de los equipos e instrumentos de prueba.

Oportunidad de los resultados. La oportunidad de un resultado, durante el control del hormigón, se relaciona con la etapa del proceso en que se realiza la prueba y con el tiempo que tarda su ejecución.

Tabla 2. Ordenamiento de pruebas y verificaciones usuales para el control del hormigón.

ETAPAS DEL PROCESO EN LA PRODUCCION DEL HORMIGON	PRUEBAS Y VERIFICACIONES EN ORDEN DE EJECUCION Y DURACION			
	INMEDIATAS menos de 1 hora	**CORTO PLAZO** entre 1 y 24 horas	**MEDIANO PLAZO** entre 1 y 7 días	**LARGO PLAZO** más de 7 días
OBTENCION Y HABILITACION				
Explotación selectiva del banco o cantera	Limpieza	Granulometría	Materia orgánica; densidad	Sanidad
Acondicionamiento (lavado, cribado, trituración)	Limpieza	Granulometría; forma de partículas.	Materia orgánica; densidad	Sanidad
Almacenamiento preliminar	Segregación	Drenaje	Contaminación	
ACOPIO DE ARIDOS HABILITADOS				
Transportación	Segregación			
Almacenamiento definitivo	Segregación	Drenaje	Contaminación	Contaminación
ELABORACION DEL HORMIGON				
Ajuste de las proporciones de áridos	Humedad	Granulometría		
Dosificación de los ingredientes	Verificación de datos	Calibraciones	Calibraciones	
Operación de mezclado	Tiempo de revoltura	Homogeneidad	Uniformidad	Uniformidad
Verificación del hormigón fresco y endurecido (en probetas)	Revenimiento Temperatura Análisis rápido, masa volumétrica, contenido de aire	Análisis normal, resistencia acelerada	Resistencia acelerada y/o en curado normal	Resistencia normal y pruebas especiales
UTILIZACION DEL HORMIGON				
Transportación	Segregación Contaminación			
Recepción de revolturas	Asentamiento Temperatura			
Colocación en los moldes	Segregación			
Verificación en la estructura	Compactación Acabado	Sangrado Curado	Descimbrado Defectos	Reparación, calidad en la estructura

En términos generales, las actividades para el control del proceso de producción del hormigón pueden dividirse en dos grupos, según se realicen antes o después de la colocación del hormigón en la estructura. Las pruebas cuyos resultados se obtienen y transmiten antes de la colocación del hormigón, tienen carácter preventivo, porque permiten evitar la elaboración, y/o utilización del hormigón, potencialmente deficientes. Por el contrario, las que producen resultados posteriores a la colocación son más bien de índole comprobatoria, y solamente pueden ayudar a tomar medidas aplicables al hormigón ya colocado en la estructura, o bien al hormigón que deba producirse a continuación.

En la Tabla 2 se presenta un resumen de las actividades usuales para controlar la producción de hormigón, ordenadas progresivamente conforme a la etapa del proceso y al tiempo en que se obtienen resultados. Para que el ciclo de actividades consistentes en probar, confrontar, corregir y volver a probar se complete con oportunidad, es necesario que dentro del sistema exista una expedita comunicación bidireccional para transmitir y acatar instrucciones. De lo contrario, puede desvirtuarse el propósito deseado de las pruebas rápidas, si se demora demasiado en la ejecución de las acciones correctivas que de ellas emanen.

1.1.5 *Técnicas o herramientas estadísticas*

El ACI 214-65, "Recommended Practice for Evaluation of Compression Test Results of Field Concrete" y "Statistical Control, PCA 1970". Discute las técnicas estadísticas que pueden usarse para la evaluación de los resultados de ensayos del hormigón en la obra, dependiendo de la información considerada. Solamente veremos en este estudio una de las técnicas estadísticas usadas en el capítulo 4 del Código.

La forma de la curva típica de distribución de frecuencias está dada en las figuras 1a y 1 b, la misma que cambiará dependiendo de la variabilidad de los resultados de ensayo. Esta variación puede incrementar la curva: bajarla o elongarla. Cuando la desviación es cuidada a un mínimo de dispersión, los valores de resistencias gráficas se encuentran muy juntos y el promedio de la curva es alto y con un margen muy estrecho. La desviación estándar es una medida de la dispersión o variabilidad de los datos. Cuando la distribución de frecuencias es larga y amplia, la desviación es mayor, indicándose en el ancho de variación. Cuando la variabilidad es pequeña, la desviación es menor y los datos se encuentran más cerrados.

La desviación estándar está definida como la desviación de la raíz cuadrada de los promedios de los resultados de ensayo con el promedio global de ensayos, y se calcula con la siguiente fórmula

$$\text{Desviación estándar} = \sqrt{\frac{(X_1-\overline{X})^2 + (X_2-\overline{X})^2 + \ldots + (X_n-\overline{X})^2}{n-1}} \quad \text{Eq 1}$$

X_1, X_2, X_n, son los valores de las resistencias individuales.

Cuando:

$\overline{X}$, es la resistencia promedio global de ensayos, y
n, es el número total de ensayos individuales.

Nótese que el valor (n-1) es usado aquí, en razón de que es un valor teórico n, el cual es aplicable para un número limitado de ensayos; la razón es que el valor (n-1) incrementa el valor de la desviación y tiende a compensar la irrealidad de una muestra de tamaño pequeño.

Estas ecuaciones se utilizan muy bien con el uso de calculadoras o computadoras. El cálculo de la desviación estándar puede ser muy largo e incómodo.

La evaluación de los resultados de resistencia en el hormigón requiere solamente de la previsión de exactitud por simple método de aproximación. La Fig. 4, se usará para ilustrar un método de cálculo.

1.1.6 *Método simplificado para el cálculo de la desviación estándar*

La cantidad de cálculo, envuelta en la ecuación 1, puede simplificarse o sí los valores de des*viación o variación ($\overline{X}_1$ - $\overline{X}$) + ... + (X_n - $\overline{X}$) se agrupan en celdas. En la figura 4a, todos los ensayos están entramados en celdas de 14 kg/cm^2, por ejemplo: todos los ensayos que fallen entre 230 y 250 kg/cm^2 están entremados en 240 kg/cm^2 , que es el punto medio y se* lo asume como el promedio de cada celda para cualquier frecuencia de valores que estén en este intervalo.

La primera celda en la figura 4a, sobre cada tamaño de $\overline{X}$ tiene una desviación (X_1 - $\overline{X}$) de 7 kg/cm^2 y la frecuencia es de 16 ensayos que se encuentran en la misma desviación. La cantidad (X_1 - $\overline{X}$) es la desviación del promedio o sea un promedio superior o inferior.

La solución de la ecuación 1 puede ser otra, simplificando por divisiones las desviaciones par*a 7. La desviación para la primera celda (uno bajo y uno sobre $\overline{X}$) se convierte en 1. La segunda celda tiene una desviación del $\overline{X}$ de 3 y así sucesivamente, con estos ajustes, la ecua*ción 1 para los ensayos dados en la Fig. 4 se convierten en la siguiente ecuación:

$$\text{Desviación estándar} = \sqrt{\frac{16\,(1)^2 + 10\,(3)^2 + 12\,(5)^2 + 4\,(7)^2 + 3\,(9)^2 + (11)^2}{45 - 1}}$$

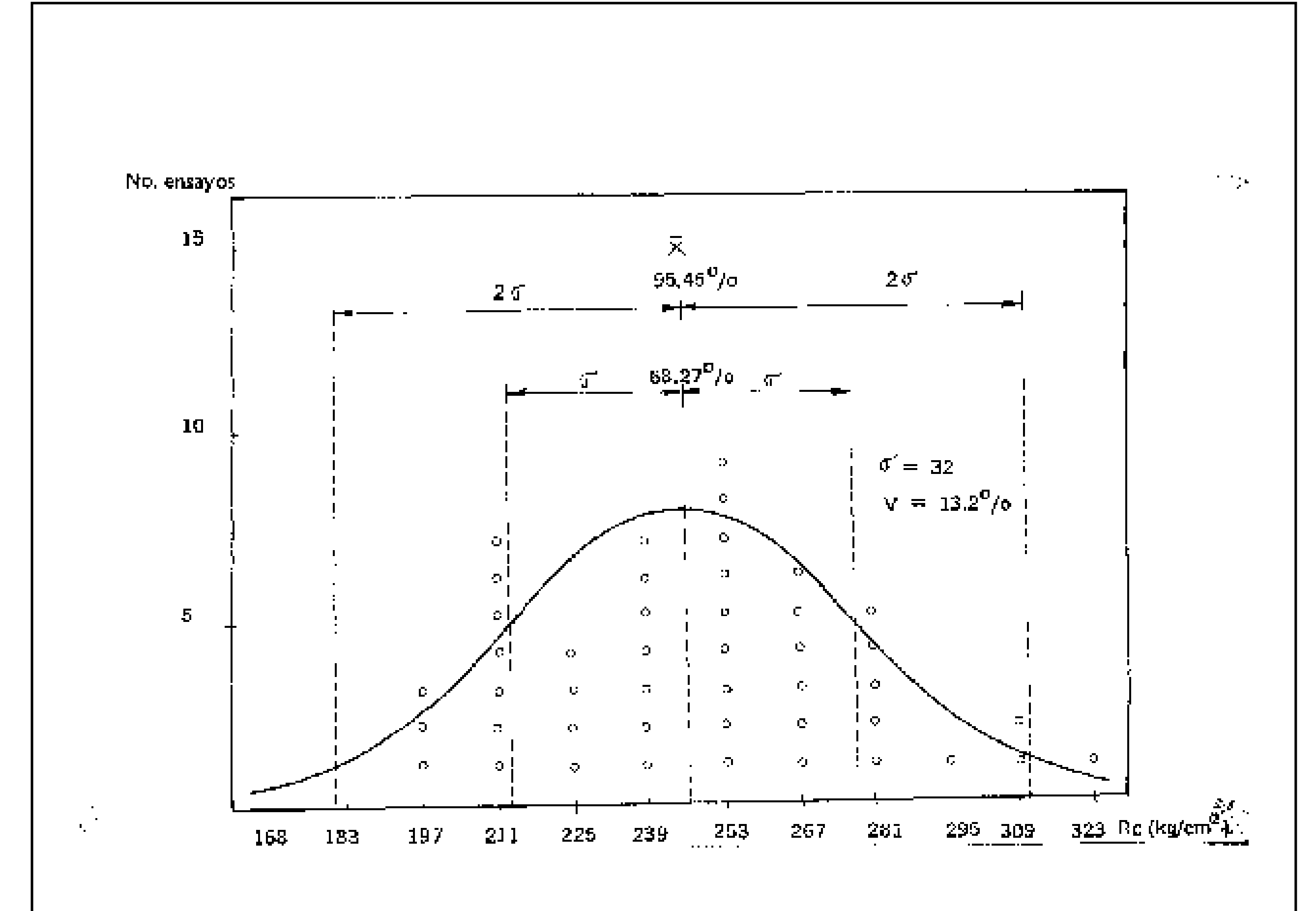


FIGURA 4ª. Distribución de frecuencia normal de resultados de ensayos

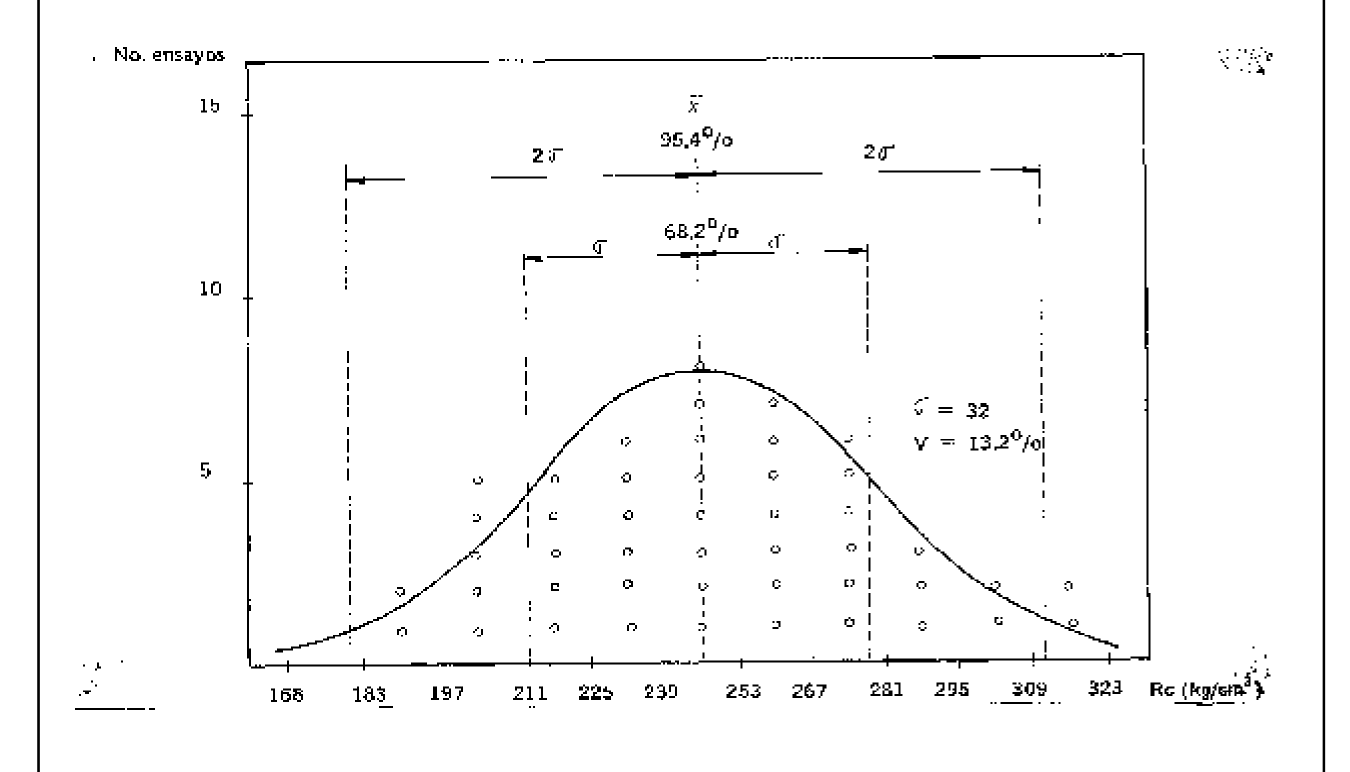


FIGURA 4b. Distribución de frecuencia normal de resultados de ensayos

El uso de una regla de cálculo es suficiente para el cálculo de la desviación estándar por este método.

1.1.7 *Pasos recomendados*

Las siguientes recomendaciones incluyen la selección de varios valores arbitrarios. Por ejemplo, todos los valores enteros, tamaño de celdas, factores de división, desviaciones gráficas, las cuales pueden afectar la exactitud de este método corto.

1. Cálculo de la resistencia promedio, $\overline{X}$, y redondeando a lo más cercano a 7 kg/cm^2.

2. Las resistencias esperadas de los ensayos encerrados en celdas de 14 kg/cm^2 con promedios de celdas sobre múltiplos de 14 de desviación para $\overline{X}$, como se indica en la figura 4b.

3. La desviación de los promedios de cada celda, son un múltiplo de 14 kg/cm^2; dividir esta desviación para 7, con lo cual se transforma la desviación en múltiplos de 2.

4. Multiplicar el número de ensayos de igual desviación en cada celda por el cuadrado de la desviación.

5. Finalmente, la suma de los productos del numeral 4 y el número total de ensayos.

Ejemplos: reportar como en la figura 4b, cumpliendo con estas recomendaciones.

No. 1

8 x	0^2	.	0
13 x	2^2	.	52
11 x	4^2	:	176
8 x	6^2	:	288
4 x	8^2	:	256
2 x	10^2	:	200
Suman	46		972

6. Sustituir la suma establecida en el numeral 5, en la ecuación 1, y multiplicar por 7; llevará las unidades de la desviación estándar en kg/cm^2

$$\text{Desviación estándar} = 7\sqrt{\frac{972}{45}} = 32 \text{ kg/cm}^2$$

Ejemplo No. 2

Promedio de los resultados de resistencia de 46 pares de cilindros.

No.	R_p	No.	R_p	No.	R_p	No.	R_p	No.	R_p
1	238	11	208	21	276	31	257	41	289
2	249	12	274	22	280	32	277	42	245
3	248	13	218	23	257	33	319	43	212
4	218	14	214	24	227	34	257	44	242
5	228	15	245	25	242	35	237	45	249
6	250	16	272	26	209	36	252	46	246
7	278	17	214	27	224	37	228		
8	274	18	197	28	228	38	213		
9	257	19	239	29	238	39	187		
10	268	20	305	30	208	40	244		

CALCULO ESTADISTICO SIMPLIFICADO

1	2	3	4	5	6	7
Límite de clase intervalos de 15 kg/cm^2	**Frec. f**	**Marcas de clase xi**	**Col 3 valor medio 249 xi-xm**	**Col 4 ÷ 15**	**Col 5 x Col 2 f (xi-xm)**	**Col 5 x Col 6 f (xi-xm)^2**
182 - 196	1	189	- 60	- 4	- 4	16
197-211	4	204	- 45	- 3	- 12	36
212 - 226	7	219	- 30	- 2	- 14	28
227 - 241	8	234	- 15	- 1	- 8	8
242 - 256	11	249 = Xm	0	0	0	0
257 - 271	6	264	15	1	6	6
272 - 286	6	279	30	2	12	24
287 - 301	1	294	45	3	3	9
302 - 316	1	309	60	4	4	26
317 - 331	1	324	75	5	5	25
TOTALES	46				- 8	168
Cuadro de los totales 2 116					64	

8) $\frac{-8}{46} \times 15 = -2{,}61 = f(\bar{x} - xm)/n.$

9) $\bar{X} = -2{,}61 + 249 = 246{,}39 = 246\ kg/cm^2 = \frac{f(Xi - Xm)}{n} + Xm.$

10) $46 \times 168 = 7\,728 - n \times f(Xi - Xm)^2.$

11) $7\,728 \quad 64 = 7\,664 = n \times f(Xi - Xm)^2 - f(Xi - Xm).$

12) $7\,664 : 2\,116 = 3{,}62 = 11)\ ^0/_0\ f.$

13) $= 15 \times 3{,}62 = 28{,}54 = 29\ kg/cm^2 =$

14) Variación $V = \frac{100\,\sigma}{\bar{X}} = \frac{100 \times 29}{246} = 11{,}8\ ^0/_0.$

1.1.8 *Resistencia especificada*

La resistencia última de ensayos de cilindros confinados de 150 x 300 mm, con compresión axial, después del curado bajo ciertas condiciones de humedad normalizadas en un laboratorio a los 28 días, está definida como la resistencia de compresión del hormigón fé. Cuando un valor especificado por fé es seleccionado como la base de un esfuerzo admisible en el diseño de cálculo, está modificada con coeficientes para poder admitir variaciones en el diseño y construcción.

Estos coeficientes no incluyen las variaciones al azar, al menos en la resistencia del hormigón, y la resistencia promedio del hormigón producido debe exceder el valor especificado fé.

Pruebas de resistencia: **JUSTIFICACION DE ACEPTACION Y RECHAZO**

Esto significa admitir las variaciones existentes en los cilindros de ensayo que no existen en la estructura, y solamente es admitir que los cilindros de ensayo no sean representativos del hormigón en cada parte de la estructura. Cuando la probabilidad de que la resistencia de cilindros de hormigón falle bajo el fé, no debe ser mayor del 9% la resistencia del hormigón en una estructura se espera aceptable.

Consideración por la cual se espera que las muestras fallen dentro del 9% de probabilidad realística.

1. Cuando los cilindros de hormigón no han sido debidamente muestreados, curados y ensayados apropiadamente, estos no son representativos del hormigón de la estructura.

Esta es una de las más comunes discrepancias en las prácticas normales de fabricación y ensayos de cilindros que hay que atender, ya que alteran y bajan los resultados y las resistencias de las muestras.

2. Si el 9% de los resultados fallan bajo el fé, entonces el 91% de los valores de los resultados serán mayores que fé, y la mayor parte de estos resultados serán considerablemente mayores que fé. Esto es un 91% de probabilidad de que el hormigón con resistencia mayores que fé esté localizado en áreas de esfuerzo crítico.

3. Se han provisto de factores de seguridad en las ecuaciones de diseño, las cuales admiten una desviación en las resistencias especificadas, pero sin que estas comprometan la seguridad de las estructuras.

1.1.9 *Criterios de calidad*

Los ingredientes principales del hormigón, por ejemplo: cemento, áridos y agua, estarán correctamente balanceados, para impartir propiedades adecuadas al hormigón fresco y endurecido. Una de las propiedades más importantes en el hormigón es la relación agua-cemento.

A menor o mayor cantidad de agua usada, la cantidad y calidad de la pasta varía. La calidad disminuye cuando en la pasta de cemento esté más agua adicional disuelta.

El Código usa dos criterios para asegurar una buena calidad en el hormigón: el uno está especificado por requerimientos de resistencia y el segundo está dado por el límite de la relación agua - cemento permisible, bajo ciertas condiciones de exposición. Esto tiene bien establecido que una baja relación agua - cemento da como resultados altas resistencias en el hormigón.

Además, establece que un hormigón de baja relación agua - cemento y una suficiente cantidad de aire ocluido producirán hormigones resistentes al congelamiento y al deterioro.

La selección de la relación agua - cemento debe estar bajo condiciones satisfactorias para los criterios de resistencia y requerimientos de durabilidad.

Los ingredientes del hormigón y las proporciones serán seleccionados para mantener los requerimientos mínimos establecidos en el Código y los requerimientos adicionales de los documentos de contrato.

APENDICE Z

Z.1 PUBLICACIONES A CONSULTAR

ACI 214-65, *"Recommended, Practice for Evaluation of Compression Test Results of Field Concrete ".*

Z.2 BASES DE ESTUDIO

704 - 4 ACT*. Concrete Quality Enchiridion E.*

IMCYC. Vol. 20. Uso racional y criterios de control de calidad del hormigón